

10~35kV不接地系统电压互感器保护实现的思路探讨

王源 赵思洋 徐娟
国网渭南供电公司 陕西 渭南 714000

摘要: 10~35kV不接地系统, 由于配网逐步采用“高压电缆”作为主要输电线路, 系统电容电流和电压互感器容易发生铁磁谐振, 严重时烧毁电压互感器。以往采用在电压互感器一次侧配置熔断器来保护, 但现实中熔断器不能可靠保护电压互感器。

关键词: 电压互感器、铁磁谐振、

引言: 2022年初, 有色产业园10kV配电室发生严重谐振事故, 电压互感器发生爆炸, 两台KYN 28开关柜损坏。由于有色产业园属于用户10kV配电室, 配置的继电保护没有足够的录波能力。只能根据上游110kV变电站录波数据判断, 由于单相接地短路后诱发谐振, 最终引发电压互感器爆炸。如何有效避免电压互感器烧毁事故, 提高设备安全稳定运行, 实现电压互感器专用保护隔离故障。

1 现状:

目前110kV变电站在城区内, 均要求采用电力管廊高压电缆落地方式线路传输。以110kV杨庄变为例, 10kV每段母线上12回出线全部都是高压电缆出线, 系统对地电容电流已经超出国标规定的30A限值。由于对于10~35kV不接地系统, 当发生谐波分量、操作引起的电压突变、单相接地等异常时, 会非常高概率激发电压互感器铁磁谐振。当电压互感器发生铁磁谐振时, 此时电压互感器的励磁电感和系统对地电容形成L-C回路, 将通常的工频电压转化为谐振过电压。在过压的同时, 由于铁芯饱和, 电压互感器的励磁电流可超过电压互感器额定电流的几十倍甚至几百倍。即使电压互感器一次侧配置的熔断器及时烧断, 但由于电压互感器Y0中性点是不接地系统对地的稳定金属通道, 接地故障相熔断器烧断前, 电压互感器很可能已经因严重过热而烧毁。以110kV杨庄变为例, 10kV II母及母线电压互感器, 在2021年发生谐振过电压两次。一次通过小电流接地选线保护5s后甩开接地10kV线路。一次过电压严重击穿了母线避雷器, 最后由主变低后备保护甩开10kV母线^[1]。

铁磁谐振是谐振的一种。由于电缆线路等电气设备对地存在分布电容, 再加上电压互感器的非线性铁磁元件电感的存在, 具备了构成谐振的必要条件。特别是电压互感器的非线性电感在电压变化时电感发生变化, 一旦出线 $WL = 1/WC$ 时, 必然激发铁磁谐振。因此当分合

操作、接地故障、雷击等异常导致电压变化时, 均有一定几率诱发电压互感器铁磁谐振。

2 已有的防范电磁式电压互感器谐振均属于被动防御

电磁式电压互感器的铁磁谐振现象, 自电压互感器发明以来是一个长期普遍的现象, 国内外已有很多的研究成果, 对电压互感器采取一定的消谐措施。可随着高压电缆的大规模应用, 系统对地电容电流数值越来越高, 以消弧线圈为首的接地电容电流限制措施, 往往会导致消谐措施失效^[2]。

一个标准的KYN-28型号PT柜, 柜内的元器件主要包含了:

2.1熔断器, 作为电压互感器一次线圈的过流保护元件。根据型号可知, 熔断器额定电流为0.5A。由于《GB 15166.2-2008 高压交流熔断器第2部分: 限流熔断器》§ 4.8额定开断能力中仅规定了额定最大开断电流(kA级别), 对额定最小开断电流仅要求制造厂明确。

而对于电磁式电压互感器, 单台容量为30VA, 一次侧额定电流仅为 $I = S/U = 30/10000 = 0.003A$ 。当发生谐振时电感电流和电容电流基本等大。目前我国电力系统将10~35kV不接地系统的对地电容电流要求限制在10A以下, 10A以上必须增加手段限制接地电容电流。由此可知, 当发生谐振时, 电容电流有可能是电压互感器额定电流的上百倍。

实际运行过程中, 若发生铁磁谐振时, 电压互感器一次线圈上通过谐振电流往往不能导致熔断器开断, 直到烧毁电压互感器后引发短路故障后熔断器才开断。

根据给南方电网公司统计的数据, 一年发生25次10kV电压互感器烧坏事故中, 均由单相接地故障诱发, 其中只有110kV向家桥变0524电压互感器是在单相接地故障持续9小时后烧坏, 其余24次电压互感器烧坏都在单相接地故障发生8小时以内^[3]。

2.2 一次消谐装置和二次消谐装置。

由于电压互感器Y0是不接地系统的稳定接地通道,当发生单相接地故障时必然会构成电流通道。通过在电压互感器一次侧中性点加装一次消谐器,一次消谐器采用非线性电阻,作为阻尼器起到一定的限流作用,可有效的抑制单相接地故障时,电压互感器于接地点构成电流回路引起的铁磁谐振。

最近几年随着科技发展以及对电压互感器铁磁谐振的防治,有一种新的谐振解决思路:在电压互感器二次侧开口绕组处增加微机二次消谐装置。正常运行时,微机二次消谐装置处于不动作状态,当开口绕组电压升高后,微机二次消谐装置自动投入一个可调电阻在电压互感器二次开口绕组上,通过可调电阻在二次开口绕组上变化,打破电压互感器铁磁谐振自保持状态,促进谐振现象快速消失。

3 解决电压互感器谐振、过压及过流等异常现象的思路

根据上文中对电压互感器铁磁谐振的分析,提出以下几种思路解决问题。

3.1 方案一:电压互感器自身提高产品质量,铁芯抗饱和能力强,具有一定的抗谐振运行能力。

3.2 方案二:选用特殊结构的抗谐振型电压互感器。

3.3 方案三:10kV母线处通过小电流接线选线装置,快速定位接地故障线路,跳开10kV配网线路。

3.4 方案四:利用DTU的小电流选线功能,快速准确定位接地故障点,隔离故障线路的同时保证非故障线路的供电能力。

3.5 方案五:配置电压互感器保护装置,发现电压互感器有过热、过流、过压现象后立刻将电压互感器退出运行。

4 分析讨论方案优缺点

4.1 方案一优点:目前电磁式电压互感器生产技术成熟,大部分生产步骤已经自动化。提高铁芯的抗饱和性能,中国目前在变压器生产上已经积累了相当多的经验。比如说采用高饱和磁通密度的多晶合金,生产工艺采用冷轧取向工艺,铁芯采用带气隙结构等。其中生产工艺是最容易提升的手段,通过提高铁芯和绕组的生产工艺,确保磁回路在铁芯上闭合,减少漏磁和偏磁损失,可以大幅度提高电压互感器的铁芯抗饱和能力,从而提高抗谐振能力。

国家电网公司在十八项电网重大反事故措施中对此有明确要求。§ 14.4.1 为防止中性点非直接接地系统发生由于电磁式电压互感器饱和产生的铁磁谐振过电压,可采取以下措施:14.4.1.1 选用励磁特性饱和点较高的,

在 $1.9U_m/\sqrt{3}$ 电压下,铁心磁通不饱和的电压互感器。
14.4.1.2 在电压互感器(包括系统中的用户站)一次绕组中性点对地间串接线性或非线性消谐电阻、加零序电压互感器或在开口三角绕组加阻尼或其他专门消除此类谐振的装置。

采用方案一,通过提高电压互感器铁芯抗饱和能力来提高抗谐振能力,但是不能彻底杜绝铁芯饱和谐振过电压。特别是要求在 $1.9U_m/\sqrt{3}$ 电压下,铁心磁通不饱和。由于该项试验项目难度较高,且不在GB交接规程规定内,现场实际上没有严格落实反措。同样,在电压互感器中性线上增加消谐电阻或者零序电压互感器,都面临试验检查难度大,现场执行打折扣的问题。很难把反措落实到实处。

4.2 方案二优点:由于电压互感器爆炸烧毁现象过于频繁,特别是对于普通的配电室用户,由于业务能力不足,电压互感器极易铁芯饱和诱发铁磁谐振。国内各大厂家都在积极推动研发专用的抗谐振型电压互感器。在中国专利网上可以看到2018年抗谐振型电压互感器发明专利申请呈井喷式出现,其中有些是把一次绕组中性点对地间串接线性或非线性消谐电阻、加零序电压互感器整合到电压互感器内部,作为一体化产品提供。有些是通过多种间隙设计手段,避免铁芯出现饱和手段。其中一种抗谐振型电压互感器是通过电容纸作为绝缘材料的同时,在电压互感器感性线圈上等效并列若干电容,使电压互感器虽然是感性元件,但实际感抗与电网系统无法构成谐振回路。如下图:

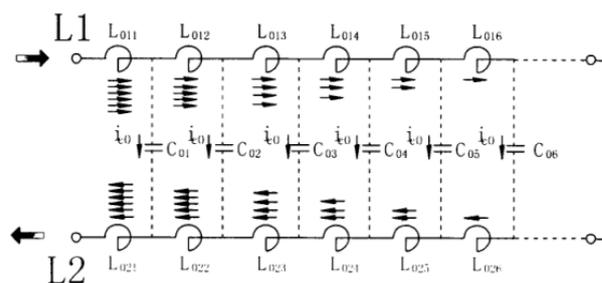


图1 抗干扰电压互感器原理示意图

通过这种双叠绕组,使得互感器的高压绕组即含有电感又含有电容,在电力系统中呈现许多段均布的不同感抗值的负载元件,使得每一双匝容性绕组的电容所连接的绕组电感值是各不相同的,形成一个宽谐振频带电感电容串并联分布电路。

除此之外,还有很多种抗谐振型电压互感器,此类电压互感器都是采用各种手段改变原有的电压互感器结构。最简单的是把电压互感器中性线上一次消谐设备整

合到电压互感器内,组成一体化的电压互感器。中级的是通过改造铁芯增加各种手段提高铁芯的抗饱和程度。高级的是通过改造电压互感器的感抗分布,避免谐振。

方案二要求电压互感器生产厂家拿出一种优化的谐振解决方案,制造出满足现场要求的电压互感器,并采取更专业严格的测试进行抗谐振效果分析。但采用新的制造方式后不可避免的提高了成本,特别是测试成本远远超过了设备生产成本。在当前社会环境下,生产厂家的推广积极性不高。

4.3 方案三和方案四优点:都是通过小电流接地故障选线跳闸,快速定位故障点,切除故障点后,10kV系统非故障状态下电压互感器正常运行,不会产生异常故障状态。此种方法的目的是解决不接地系统由于单相接地引发的各种谐振过电压。

国家电网公司于2018年开始大力推广小电流接地选线,在110kV变电站的10kV母线上配备专用小电流接地故障选线装置,在10kV环网柜内DTU整合小电流接地故障选线功能,逐级布控实现迅速隔离故障点。此方案成本非常高,目前也就是国家电网公司在推广,其他用户未见有明确动作。自国网大力推广小电流接地选线跳闸后,电压互感器和熔断器烧坏的次数下降非常明显。2021年开始,国网逐步减少消弧线圈使用,开始小电阻方案,进一步降低10~35kV不接地系统单相接地故障诱发谐振的几率

对配电室结构的普通用户来说,单相接地迅速跳闸易导致停电,停电的损失远高于电压互感器损坏的结果。因此方案三、方案四,通过迅速排除单相接地故障点在用户侧推广面临两大困境:成本过高和用户抵制。

4.4 方案五,配置专用的电压互感器保护。现场实际中,电压互感器柜配置母线测控装置一台,对于10kV级别保护测控多合一装置,可以将测控装置升级为保测一体装置,配置专用的保护程序,当判定电压互感器异常具有烧毁风险时,采取自动控制手段将电压互感器退出运行,一旦电压互感器退出运行后,谐振L-C回路破坏谐振自动消散后,重新恢复电压互感器投入运行。

该方案在二次部分增加的投入不高,后期大面积推广后,新保护测控的采购价会很快和原有测控装置的采购价持平。但是为了充分判定系统谐振状态,需要增

加很多的采样数据,对开关柜的元器件会增加不小的费用。同时,电压互感器退出运行后,会导致母线所有间隔的设备无法采集母线电压,重载时主变低压侧复压闭锁过流保护有一定的误动风险,同时对于电能计量专业是一种巨大影响。无论是避免备自投无压跳主变进线,还是电压并列自动回复母线电压,在二次端都存在大量的工作量。

方案五需要专业的继电保护二次知识,能把一次设备状态和二次设备原理有效的组合起来,同时对其他二次设备有准确的判断,避免产生其他配合问题,该解决方案不适合电压互感器厂家执行。

4.5 方案六:配置专门的谐振消除设备。在国外已有成熟案例,国内目前主流的是带消谐功能的柔性息弧设备,相对于原来10kV系统,系统对地容抗由对地绝缘状况决定,是一个较稳定的值,系统对地感抗主要是电压互感器、消弧线圈、接地变等设备提供,是一个固定值。带消谐功能的柔性息弧设备,具备一个可调节的感抗,当发生L-C谐振后,可自动变化感抗来破坏已产生的谐振点。

方案六的最大问题就是成本过高,除非能大规模推广设备,将设备成本降低到当前十分之一左右,才具备推广价值。

结束语:

通过对上述方案优缺点分析,上述方案都可以解决大量的故障案例。

成本问题可以通过工业化生产进一步降低,实施关键还是在于引导。目前为了解决不接地系统中电压互感器烧坏,采取多路齐发,多路并举的模式。一方面通过迅速隔离故障点,降低系统谐振风险。一方面通过专用的电压互感器保护,在二次设备上通过微机装置逻辑判定方式,改进系统运行方式。最后,感谢各个互感器制造厂家提供的解决思路,感谢南方电网公司和国网陕西电力公司提供的统计数据。

参考文献:

[1]丁恒洪.10千伏电压互感器烧坏原因分析及几种解决方法的探讨[J].贵州电力技术,2020(29):127-128+72.

[2]李永强.10kV电压互感器烧毁故障分析[J].科技资讯2021,40(14):99-100.